

EEG-GÖRBÉK

SZÁMÍTÓGÉPES FELDOLGOZÁSA

© *Tófalvi Péter*

Budapest

1993

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS	3
I. FEJEZET: EEG JELEK FELDOLGOZÁSÁNAK ÉS ÉRTÉKEKELÉSÉNEK METODIKÁJA	4
I.1. DISZKRÉT FOURIER-TRANSZFORMÁCIÓ	4
I.1.1. Valós leírású Fourier-sor	4
I.1.2. Komplex írásmódú Fourier-sor	4
I.2. DISZKRÉT FOURIER-TRANSZFORMÁCIÓ ALKALMAZÁSA MINTAVÉTELEZETT JELEK ANALÍZISÉRE	6
I.3. MINTAVÉTELEZETT JELEK FELDOLGOZÁSA A STATISZTIKA MÓDSZEREIVEL	7
II. FEJEZET: EEG JELEK SZÁMÍTÓGÉPES MEGJELENÍTÉSÉNEK EGY LEHETSÉGES ALTERNATÍVÁJA.....	8
III. FEJEZET ELEKTROMÁGNESES HULLÁMOKAT GENERÁLÓ BERENDEZÉS PROGRAMOZÁSÁNAK PROBLÉMÁI.....	9
BIBLIOGRÁFIA	11
SZAKDOLGOZAT BÍRÁLAT	13

BEVEZETÉS

A mai modern kultúra nagymértékben az ókori, főleg görög kultúrára építkezik. A tudományos szóhasználatban hemzsegek az olyan kifejezések, mint atom, fizika, optika, empiria, tézis, axióma stb., melyek mind-mind az ókori görög civilizáció hagyatékai.

Néha egy-egy új elméleti felfedezés úgy keletkezett, hogy valamely ókori gondolkodó rég elfelejtett munkáját újragondolták és a fejlettebb technika, valamint alaposabb elméleti felkészültség birtokában, magasabb szinten, a naiv elképzelés igazságát bebizonyították. Persze elmondható az is, hogy a régiek sok-sok igaznak vélt tétele dőlt meg előbb vagy utóbb, és maradt az emberi gondolkodás fejlődésének egyik érdekes, említésre méltó momentumává. Hadd említsük csak meg, hogy egyrészt a geocentrikus, másrészt a heliocentrikus világszemlélet az ókorban öltött testet, fogalmazódott meg. A két elképzelés között a vita - látszólag - a XVI. században dőlt el, amikor *Kopernikusz* kidolgozta híres feltevését a heliocentrikus világrendszerről. Abban, hogy hipotézise "bebizonyosodott", nagy szerepe volt *Galileo Galileinek* (1564-1642, aki a távcső segítségével megfigyeléseket végzett a bolygókra, a Napra és a Tejútra vonatkozólag).

Történelmi távlatból szemlélve az emberiség fejlődését megállapítható, hogy a világ megismerése kisebb-nagyobb megtorpanásokkal, de folyamatosan haladt, úgy a mikro- mint a makrokozmosz irányába.

Ez a megismerés kétségtelenül magasszintű az anyagi világgal kapcsolatban, de nem ért el hasonlóan magas színvonalat a lelki-pszichikai élet területén. Ennek ellenére *Freud*, *Jung* és mások óta az utóbbinak is oszladozóban van a misztikuma. Talán nem ér nagy bírálat, ha kijelentjük, hogy az, ami a csillagászatban a távcső volt, talán az lehet a pszichológiában, pszichiátriában a számítógép, persze más tudományokkal együttműködésben.

Jelen dolgozat célja az EEG görbék számítógépes feldolgozásának rövid áttekintése. Három kérdéskör állt össze, mely szorosan követi azt a folyamatot, melyen a beteg végighalad:

- Vizsgálatok,
- Diagnóziskészítés,
- Gyógyítás.

E három szakaszból itt csak a közbensőről lesz szó bővebben, a harmadikot csak röviden érintjük, míg az első pont nem kap teret tárgyalásunkban.

Szükségesnek tartjuk megjegyezni, hogy bár az informatikusnak nem célja az orvos szerepének csökkentése, hisz a végső szót mindig ő fogja kimondani, ennek ellenére a probléma megoldása nem történhet meg annak alapos, akár orvosi részletekbe menő ismerete nélkül. A programozó nem temetkezhetsen el fájlok és bájtok közé, hanem szorosan az érintett témával kapcsolatos legjobb megoldást kell kidolgoznia.

I. FEJEZET: EEG JELEK FELDOLGOZÁSÁNAK ÉS ÉRTÉKELÉSÉNEK METODIKÁJA

Az EEG jelek analóg folyamat, az agy - által generált elektromágneses tér amplitúdó-változásai eredményeként jönnek létre. Egy folyamatot akkor tekintünk analógnak, ha az általában tetszőleges, független, folytonos változó függvényében az amplitúdók folytonos. Ez a független, folytonos változó általában az idő. Ha az EEG görbéket papíron akarjuk megjeleníteni, grafikonyszerűen, erre ma már fejlett eszközök állnak rendelkezésre. A digitális számítógépes feldolgozás azonban szükségessé teszi a *mintavételezést* és *amplitúdókvantálást*¹, melynek következtében a feldolgozás diszkrét idejű és diszkrét értékű jelekre történik, meghatározott szabályok szerint. A módszer, mely az elemzés alapjául szolgál, a *diszkrét Fourier-transzformáció* nevet viseli, melynek van egy variánsa, az ún. *gyors diszkrét diszkrét Fourier-transzformáció*. Ez utóbbi az időkritikus jelelemzésnél használt. Tekintve azonban, hogy az EEG görbék feldolgozása, legalábbis a számítógép műveletvégzési sebessége szempontjából nem időkritikus, ezért problémánk tárgyalásánál az előbbit fogjuk alkalmazni.

I.1. DISZKRÉT FOURIER-TRANSZFORMÁCIÓ²

Ismételjük át röviden az idevonatkozó tételeket periodikus jelekre:

I.1.1. Valós leírású Fourier-sor

$$f(t) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k \cos(\omega_k t) + \sum b_k \sin(\omega_k t) \quad (1)$$

ahol: $f(t) = f(t+nT_0)$, $n = -\infty \dots +\infty$

Az (1)-es egyenlet mérnökök számára ismertebb alakja:

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos(k\omega_0 t + \omega_k) \quad (2)$$

ahol: $A_0 = a_0$; $A_k = \frac{a_k}{\cos \omega_k} = -\frac{b_k}{\sin \omega_k}$

A periodikus időfüggvény A_k és ω_k értékekkel leírt spektrumát³ az $\omega_k = \omega_{k0}$ helyeken vonalakkal szokás ábrázolni.

I.1.2. Komplex írásmódú Fourier-sor

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} C_k e^{j\omega_k t} \quad (3)$$

¹ Lásd: szakirodalom.

² Megjegyzés: ez a fejezet nem szakember számára átugorható.

³ Spektrumnak nevezzük valamely, szinuszos komponensekre felbontható - tehát Fourier-transzformálható -, időfüggvény szinuszos komponenseinek ábrázolását, amplitúdó-frekvencia koordináta-rendszerben.

ahol: $e^{j_k \omega_0 t} = \cos(k\omega_0 t) + j \sin(k\omega_0 t)$

C_k komplex szám: amplitúdótényező

$$C_k = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{+\frac{T_0}{2}} f(t) e^{-jk\omega_0 t} dt \quad (4)$$

A komplex írásmód jelentős mértékben leegyszerűsíti a Fourier-tételt.

Ezzel a módszerrel, például, egy valós harmonikus rezgés két fél amplitúdójú, pozitív és negatív frekvenciájú rezgés összegével ábrázolható.

A fenti egyenletek, amint azt említettük, periodikus jelekre vonatkoznak.

Az áttérést a nem-periodikus jelekre úgy végezzük el, hogy a T_0 periódusidőt a végtelenhez közelítjük.

Ha $T_0 \rightarrow \infty$ akkor $f \rightarrow 0$, azaz a vonalas spektrum helyett folytonos spektrum keletkezik, vagyis már nem bontható fel diszkrét vonalakra.

Így a (3)-as képletben az összeg integrállá alakul:

$$f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \underline{F}(\omega) \exp(j\omega t) d\omega \quad (5)$$

és

$$\underline{F}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \exp(-j\omega t) dt \quad (6)$$

Az (5)-ös összefüggést *inverz Fourier-transzformációs képletnek* nevezzük, és felírhatjuk a körfrekvencia függvényében is, figyelembe véve, hogy:

$$d\omega = \frac{d}{2\pi}$$

A (6)-os képletben az $\underline{F}(\omega)$ *folytonos spektrális függvény*, amely a periodikus függvények sorfejtésében eredetileg szereplő diszkrét C_k amplitúdó-együtthatóknak felel meg (lásd a (4)-es relációt). Ezt a mennyiséget felbonthatjuk képzetes és valós részre:

$$\underline{F}(\omega) = \operatorname{Re}\{F(\omega)\} + j \operatorname{Im}\{F(\omega)\} = R(\omega) + jX(\omega) \quad (7)$$

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{X(\omega)}{R(\omega)} \right\} = R(\omega) + jX(\omega) \quad (8)$$

$$|\underline{F}(\omega)| = \sqrt{R^2(\omega) + X^2(\omega)} \quad (9)$$

Az $F(\omega)$ függvény az $f(t)$ időfüggvény *Fourier-transzformáltja*.

I.2. DISZKRÉT FOURIER-TRANSZFORMÁCIÓ ALKALMAZÁSA MINTAVÉTELEZETT JELEK ANALÍZISÉRE

Mintavételezett jelekre a Fourier-transzformáció közvetlenül nem alkalmazható, mivel ez a mintavételezést végtelen kis időtartományra írja elő (lásd a (6)-os relációt). Ezért az időváltozót, mely eredetileg folytonos, diszkrétként kezelve a (6)-os egyenletet a következőképpen írjuk fel:

$$\underline{F}'(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} f(t) \exp(-j2\pi n t) \quad (10)$$

Amint látható, az $\underline{F}'(\omega)$ -ban periodikus, tehát:

$$\underline{F}'(\omega) = \underline{F}'(\omega + n\Omega) \quad (11)$$

ahol $\Omega = 2\pi t$

és $n \in (-\infty, +\infty)$

A (11)-es egyenlet szerint az $\underline{F}(\omega)$ spektrum az Ω frekvenciával periodikusan ismétlődik. A mintavételezett jelet úgy lehet tekinteni, mint az eredeti folytonos $s(t)$ függvény, valamint a mintavételezés során keletkező $d(t)$ tüimpulzusszerű függvény szorzatát. Legyen $S(\omega)$ és $D(\omega)$ az $s(t)$ és $d(t)$ függvények komplex írásmódú spektrumai, melyeknek transzformáltjai az $S'(\omega)$ és $D'(\omega)$ lesznek.

A Fourier-transzformáció egyik alapvető tétele az, hogy két egymással multiplikatív módon (vagyis szorzat útján) összekapcsolt függvény transzformáltja egyenlő az egyes függvények transzformáltjának konvolúciójával.

A konvolúciót a $*$ jellel szimbolizálva, a *konvolúciós tétel* a következőképpen írható fel:

$$\underline{F}'(\omega) = \underline{S}(\omega) * \underline{D}(\omega) \quad (12)$$

ami az

$$\underline{F}'(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \underline{S}(\omega) * \underline{D}(\omega) d\omega \quad (13)$$

konvolúciós integrál rövidített írásmódja.

Mintavételezett jelek helyes analízise korlátozott sávszélességű frekvenciaspektrumot követel meg. *Shannon mintavételi tétele* kimondja, hogy időben és amplitúdóban folytonos jel mintavételezett értékekből történő helyreállítása hibátlanul csak akkor lehetséges, ha a mintavételi frekvencia f_m a jelben előforduló legnagyobb frekvenciának legalább kétszerese.

$$f_{\max} < 1 / t \quad (14)$$

A gyakorlatban a mintavételi frekvencia maximális értékét az *analóg-digitális átalakító*, valamint a számítógép *működési paraméterei* határozzák meg. *Aluláteresztő szűrő* használatával a jelet a konkrét lehetőségekhez lehet igazítani.

A számítógépben a mintavételezett jeleket adatblokkokban tároljuk. Az összes blokk együttes hossza adja a *megfigyelési időt* vagy *ablakszélességet* (*time-window*).

Csak az érdekesség kedvéért, hadd említsük meg, hogy ha a mintavételi frekvenciát 40 kHz-nek vesszük, $t=25\mu s$, akkor 20 kHz-nél kisebb frekvenciájú jeleket is, mint például a *zene*, fel lehet dolgozni.

Ez azt jelenti, hogy másodpercenként 40 kilobájt tárolókapacitás telik meg, tehát egy 40 megabájtos merevlemezen kb. 10 perc zenei anyagot lehet tárolni. Persze, ha adattömörítést alkalmazunk, akkor ezt a határt még ki lehet tolni.

A fent leírt (10)-es egyenlet speciális esete az *időben korlátozott jelek*. Írjuk is át ennek megfelelően:

$$\underline{F}(M) = \sum_{n=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} f(t) \exp(-jMnt) \quad (15)$$

amely megfelelő behelyettesítések után így fog kinézni:

$$\underline{F}(M) = \sum_{n=0}^{N-1} f(n) \exp(-j \frac{2\pi Mn}{N}) \quad (16)$$

Az eredeti, időfüggő jel visszaállítása az inverz diszkrét Fourier-transzformációval lehetséges:

$$f(n) = \frac{1}{\Delta t} \left(\sum_{m=0}^{N-1} F(m) e^{j2\pi mn/N} \right) \quad (17)$$

Időben korlátozott jelek analízise során a diszkrét Fourier-transzformációt különböző ablakfüggvényekre végezhetjük el. Az ablakfüggvény helyes megválasztása olyan kérdéskör, amelyet itt nem tárgyalunk.

I.3. MINTAVÉTELEZETT JELEK FELDOLGOZÁSA A STATISZTIKA MÓDSZEREIVEL

A sztochasztikus jelek folytonos frekvenciaspektrummal rendelkeznek. A nem-determinisztikus jelek mintavételezése nyomán keletkező $F(\omega)$ diszkrét Fourier-transzformáltból meghatározzuk a teljesítményspektrumot (melynek dimenziója V^2). Stacionárius jelekre M számú egyedi spektrum aritmetikai középértékét meghatározva kiszámítható a teljesítményspektrum tényleges átlagértéke, mely érték annál pontosabb, minél nagyobb a rendelkezésre álló középérték-képzéshez szükséges egyes spektrumok száma. Stacionárius folyamatok esetén a teljesítményspektrum diszkrét értékei *Rayleigh-eloszlásúak*, amelyek normált értékeit táblázatokban lehet megtalálni. Ez a módszer lehetővé teszi a jelben esetlegesen meglévő, de elfedett, determinisztikus összetevő feltárását.

Amikor az EEG jelek digitális feldolgozását végezzük, nem kerülhetjük meg a digitális szűrők elméletét.

Frekvenciafüggő, amplitúdósúlyozású rendszerek vizsgálatának segédeszköze digitális rendszerek tartományában a *z-transzformáció*, mely a Fourier-transzformáció adaptálásának tekinthető.

A *z-transzformáció* képlete:

$$\underline{F}(z) = \sum_{n=0}^{\infty} f(n)z^{-n} \quad (18)$$

$$\text{ahol } z = \exp(p) \text{ és} \\ p = \sigma + j$$

A *z-transzformáció* és a Fourier-transzformáció között a következő összefüggés áll fenn:

$$\underline{F}(z) = \underline{F}(e^j) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(n)e^{-jn} \quad (18)$$

Konkréten néhány szót szólva a mintavételezett jelek alapján történő diagnosztizálási lehetőségekről, szükséges kihangsúlyozni, hogy az analízist először egy, minél több alanyt magába foglaló mintán kell elvégezni, mégpedig olyan személyektől származó mintákon, akiknél a diagnózis már pontosan felállítódott. A további feladat az lesz, hogy az ez után elemzendő adatokat a fent említettekkel összehasonlítsuk, és a statisztika módszereit alkalmazva, bizonyos valószínűséggel megállapítsuk, hogy az épp analizált adatot mely kategóriába tudjuk besorolni. Ennek érdekében szükség van a valószínűség-sűrűségfüggvény, az eloszlásfüggvény, az aritmetikai középérték, a négyzetes középérték, az eloszlás szórásnégyzete, a standard szórás és a variancia meghatározása. Ezeket a számításokat persze a számítógép végzi el. Az orvos feladata a diagnózis felállításában továbbra is fennmarad, a számítógéppel csak ugyanazon műveletek monoton ismétlését küszöböljük ki.

Annak valószínűsége, hogy olyan érték lép fel, mely kisebb vagy egyenlő egy előre meghatározott felső határnál, a feltételes valószínűség fogalmával írható le:

$$P(x_0) = P(x < x_0)$$

$$P(x_j) = \sum_{x(x_1)} p(x_j)$$

II. FEJEZET: EEG JELEK SZÁMÍTÓGÉPES MEGJELENÍTÉSÉNEK EGY LEHETSÉGES ALTERNATÍVÁJA

Az eddigi, EEG görbék megjelenítő számítógépes programok e problémát mind grafikus szemszögből közelítették meg. A grafikus ábrázolás szemléletes, ezért tetszetős. Nem kell azonban megfélekednünk arról, hogy a vizuális ingereken kívül az ember rendkívül fogékony az akusztikus hatásokra is. Ezért az említett görbék alternatív megjelenítési módja az lehet, hogy az egyes amplitúdókhoz hangfrekvenciákat rendelünk hozzá, olyan frekvenciákat, melyek az emberi fül számára élvezhetőek. Ez nem is nagy probléma, hisz minden PC rendelkezik legalább a beépített hangszóróval, melyet meg lehet szólaltatni. Abban az esetben, ha a hangminőséggel szemben speciális követelményeket támasztunk, szükségessé válik Sound Blaster vagy a PC-hez más, bővítkártyával csatlakoztatott jobb minőségű hangszóró használata.

A négy oktávnyi zenei hang frekvenciái 16,35 Hz-től 4186,01 Hz-ig terjednek. Az IBM PC beépített hangszórójával 13 Hz és több mint 1 millió Hz közötti hangokat lehet előállítani. A hangszóróval kétféle módon lehet hangot generálni: programmodszerek segítségével - azaz a programozható perifériaillesztő IC-ben (PPI) található hangszóróvezérlő bitek ki-be kapcsolásával -, vagy időzítő módszerrel - vagyis a PC beépített, programozható időzítőjének segítségével, a membrán meghatározott frekvenciával való rezegtetésével -. A mi céljainknak az első módszer tökéletesen megfelel.

A fent leírt módszer segítségével nagyon plasztikussá válik például azon időtartomány kezdete, amikor egy epilepsziás betegnél elkezdődik a kómas állapot. Sőt, mi több, kockáztassunk meg egy merész feltevést: szerintünk a természetben mindenütt jelenlévő szimmetriatörvénynek megfelelően az az EEG görbe, melynek a fent vázolt módon előállított hangképe diszsonáns, diszharmonikus, utalhat egy bizonyos mértékű kiegyensúlyozatlanságra a pszichikai állapottal kapcsolatban. Ez viszont, még egyszer hangsúlyozzuk, nem több merő hipotézisnél, melyet az ellenőrzés validálhat vagy cáfolhat.

Az itt ismertetett alternatív módszer EEG görbék szemléletessé tételére igazán azoknak válhat hasznos segédeszközzé, akiknek viszonylag fejlett ritmusérzéke, ún. zenei hallása van, de ezek olyan követelmények, melyeknek az orvostársadalom messzemenően megfelel.

Ugyanakkor, ez a módszer hasznos lehet bio-feed-back kísérletekben is. E kísérletekben a résztvevők a számítógép képernyőjén figyelemmel kísérhetik saját EEG hullámaik alakulását, és egy bizonyos idő elteltével megtanulhatják - és meg is tanulták! -, ezen hullámok amplitúdójának akaratlagos változtatását. Egyes személyek képesek voltak β -hullámaik befolyásolására is. Sőt, mi több, a rendezetlen, többcsatornás elosztott aktivitásból egyetlen magasabb amplitúdós maximum jött létre. Az EEG akaratlagos befolyásolását átlagemberek - egyes, jógyakorlatokat régóta végző személyekkel ellentétben - csak akkor tudták elsajátítani, ha a képernyőt megfigyelték. A tanulási folyamatban tehát kulcsszerepe volt a grafikus megjelenítésnek. Ez a folyamat a zenei megjelenítés megléte esetén bizonyára lerövidülne.

III. FEJEZET

ELEKTROMÁGNESES HULLÁMOKAT GENERÁLÓ BERENDEZÉS PROGRAMOZÁSÁNAK PROBLÉMÁI

Nemrég jelentek meg a mass-médiák közvetítésével olyan híradások, melyek beszámolnak arról, hogy a müncheni *Open Mind Studio*-ban olyan készüléket fejlesztettek ki, mely az EEG hullámokban meglévő α , β , δ és θ hullámok generálására képes. Megfigyeléseik szerint ezen hullámok hatása az agyra konkrétan nyugtató, valamint stimuláló jellegű lehet. Nem feladatunk vagy célunk eldönteni, hogy orvostudományi szempontból ezek az állítások helytállóak-e. Ehelyett tekintsük át röviden azt a módszert, mely lehetővé tenné a fentiek valódiságának ellenőrzését. Egy olyan készüléket képzelünk el, mely magába foglal egy EEG érzékelőt, valamint egy elektromágneses tér generátort. A két egymástól független készüléket egy mikroprocesszor irányítja, időosztásos (*time sharing*) üzemmódban. Szükséges kellékek még: egy bővítőkártya, szemüveg, fejhallgató.

A mikroprocesszor time-sharing üzemmódban való programozása a multiprogramozás *Flynn* által megadott osztályozása alapján a SISD (*single instruction single data*) típusú mikroprocesszor programozását jelenti. Másszóval, a processzor üzemidejét felosztjuk időszeletekre, melyek alatt csakis egy feladatot (*task*) lát el. Minden feladat korlátozott ideig veheti igénybe a processzoridőt, utána le kell róla mondania, hogy átadja helyét egy másik feladatnak.

Kérdés, hogy a jelen esetben 3 (1. EEG jelek átalakítása analógról digitálisra; 2. a jelek elemzése, feldolgozása; 3. az elektromágneses hullám generátor irányítása) feladat között hogyan osztjuk fel a processzoridőt? A legegyszerűbb megoldás az, ha mindhárom folyamatnak ugyanannyi időt szentelünk. Nem szabad azonban megfedkezünk arról, hogy Shannon mintavételezési tételének megfelelően biztosítanunk kell a mintavételezés elégséges gyakoriságát. Az emberi EEG-ben a frekvenciatartomány nem túl magas, kóros esetekben sem haladja meg a 100-150 Hz-et⁴. Ha számításainkban 300 Hz-et veszünk, a mintavételi frekvencia:

$$f_m \geq 600 \text{ Hz} = 0,6 \text{ kHz}$$

Ha egy teljes diszkrét Fourier-transzformációhoz 10 ms szükséges, akkor a valós időben analizálható maximális frekvencia 50 Hz. Ez a probléma bemeneti adatpuffer beiktatásával oldható meg.

Az elektromágneses jelgenerátor irányítása különösebb problémát nem okoz.

⁴ Epilepszia- grand mal - esetén: tuskék - frekvencia 30-50 Hz; amplitúdó kb. 300 μ V. Tehát még a fenti 100-150 Hz is sok, de ennek nincs elvi jelentősége. Tehát még bemeneti adat puffere sincs szükség.

BIBLIOGRÁFIA

1. Hesselmann, Norbert: Digitális jelfeldolgozás (Műszaki Könyvkiadó, 1985)
2. Walsa Róbert, Dr.: Szakismeretek EEG laboratóriumi asszisztensek számára (Bp., 1974)
3. Computer Panoráma, 1992/1. szám
4. EHO-12: Hordozható visszhangos enkefalográf (Törzskönyv)
5. Elektronik, 1975/24. Karp, Hans Norbert: Frekvencia-analizátor EEG jelek részére
6. Norton, Peter: Az IBM PC személyi számítógép programozása

SZAKDOLGOZAT BÍRÁLAT

A hallgató neve: **Tófalvi Péter**
A dolgozat címe: **EEG jelek számítógépes feldolgozása**
Bíráló neve: **Légrádi Gábor**

A hallgató a kiírásnak megfelelően az első részben az EEG jelek feldolgozásának, értékelésének metodikáját fejtette ki.

A második részben az EEG jelek megjelenítését vizsgálta, több érdekes lehetőséget is figyelembe véve.

A harmadik témarész az elektromágneses tér hatása a pszichikai állapotra a kiírástól eltérően kissé más módon került megvalósításra.

A mellékelt irodalomjegyzék alapján is megállapítható, hogy a hallgató igen alapos háttérismeret birtokában látott neki dolgozata elkészítésének. A jelek kiértékelésének matematikai háttere (Fourier és z-transzformáció) kellő mélységű, áttekinthető.

Végül az elektromágneses hullámokat generáló berendezés programozási problémái kerültek feldolgozásra, olyan nézőpontból, hogy az ilyen berendezés által keltett hatások mérését milyen határok között lehetne megvalósítani.

A mellékletben szereplő program jól strukturált, de esetleg a jobb érthetőséget a megjegyzések gyakoribb alkalmazása nagyban elősegítette volna.

Formai szempontból a dolgozat jó, a megértést egy-két helyen zavarják meg kissé a képletekben szereplő (illetve hiányzó) jelek.

A fentiek figyelembevételével a dolgozatra jeles (5) osztályzatot javaslok.

1993. március 19.

Légrádi Gábor sk
int. munkatárs